

디지털 트윈을 활용한 SOC 시설물의 스마트 모니터링 기술

조근희 인프라안전연구본부 연구위원

디지털 트윈이란

디지털 트윈(Digital Twin)은 사용자가 관심 있는 물리량에 대해 실제 구조물과 동일하게 거동하는 가상공간(컴퓨터, 휴대폰 등)상의 모델이다. 이를 활용하면 현실에서 발생할 수 있는 상황을 컴퓨터로 미리 시뮬레이션 함으로써 결과를 예측하거나 문제점을 파악할 수 있게 된다. 이러한 잠재력으로 인해 시장 조사 전문기관인 가트너(Gartner)는 2017년과 2018년에 디지털 트윈을 미래 유망 10대 기술에 포함하였다.

디지털 트윈의 개념은 2002년 미시간 대학교의 마이클 그리브스(Michael Grieves)에 의해 구체화 되었으며, 많은 기업이 사용하면서 널리 알려지게 되었다. 하지만 디지털 트윈이란 개념이 완전히 새로운 것은 아니며, 이미 CAD나 유한요소 모델도 디지털 트윈의 일종으로 볼 수 있다. 또한 기존의 시스템 식별(System Identification) 기술은 디지털 트윈을 구축하기 위한 기술에 해당하고, 구조물 건전성 모니터링(Structural

Health Monitoring) 기술은 디지털 트윈을 활용하는 기술로 볼 수 있다.

그림 1은 SOC 시설물에 대한 스마트 모니터링 측면의 디지털 트윈 개념을 보인 것이다. 실제 구조물(Physical system)에 센서를 설치하고, 센서로부터 계측된 데이터를 통해 실제 구조물과 동일하게 거동할 수 있도록 컴퓨터에 유한요소모델(Cyber system)을 구축·조정한다. 이렇게 구성된 유한요소 모델이 디지털 트윈에 해당하며, 실제 구조물의 상태 변화에 따라 계속 변화하게 된다. 사용자는 디지털 트윈을 통해 시설물의 사용성, 안전성 등은 물론 더 나아가 성능이나 수명 예측에도 활용할 수 있다.

디지털 트윈 활용 사례

최근 들어 컴퓨팅 능력이 향상되고, 인공지능 기술이 발전하면서 디지털 트윈 기술은 비약적으로 발전하여 제조 산업을 중심으로 활용 영역을 넓혀가고 있다. 그 대표적인 사례로서 GE(General Electric)의 항공기 엔진에 대한 디지털 트윈 활용을 들 수 있다. 다양한 계측 데이터를 사용하여 항공기 엔진 내부의 손상을 진단하고 장기성능을 통계적으로 분석하는 디지털 트윈을 개발하여 적용함으로써 효율성, 안전성 제고 및 유지보수비용 절감을 달성하였다. 이 밖에도 제조산업 분야의 디지털 트윈 활용 사례는 많이 찾아볼 수 있지만, SOC 분야에 적용한 사례는 현재까지 많지 않은 편이다.

SOC에 디지털 트윈을 적용한 대표적인 사례로는 싱가포르와

그림 1 SOC 시설물에 대한 스마트 모니터링 측면의 디지털 트윈 개념



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

영국을 들 수 있다. 싱가포르의 국가 전체를 3차원 디지털화하고 이를 활용하여 효율적인 도시 계획 및 관리를 하고 있다 (Virtual Singapore, 2014–2018). 영국은 VU.CITY라는 디지털 트윈 시스템을 통해 런던시를 비롯하여 여러 도시를 대상으로 가상 도시 모델을 만들어 도시 운영에 활용하고 있다.

이에 반해 SOC 시설물의 구조적 안전성을 모니터링하고 더 나아가 성능을 평가하고 예측하는 분야에 디지털 트윈을 적용하는 기술은 타 산업 분야에 비해 상대적으로 더딘 발전을 하고 있다. 제조 분야는 소프트웨어의 상황판단에 대한 수용성이 높고 관련 규제가 상대적으로 약하기 때문에 디지털 트윈 시스템의 빠른 도입이 가능하다. 반면에 SOC 시설물의 스마트 모니터링 분야는 소프트웨어의 잘못된 판단은 대규모 인명 사고로 이어질 수 있고, 관련 규제 또한 상대적으로 높은 편이다. 이러한 차이로 인해 SOC 시설물 분야의 디지털 트윈 적용이 더디게 나타나고 있다.

디지털 트윈 활용 스마트 모니터링 기술

디지털 트윈을 활용한 SOC 시설물의 스마트 모니터링 기술의 핵심요소는 시설물로부터 얻는 센서 계측 데이터와 이를 통해 구성하는 유한요소모델이다. 그렇다면, 어떤 센서를 시설물별로 어느 부위에 설치하는 것이 디지털 트윈을 구축하고

이상 상황을 파악하는 데 도움이 될까? 기존 연구는 주로 가속도 센서에 대해 설치 위치 최적화 등을 수행하였다. 최근에는 센서 기술이 발전함에 따라 여러 종류의 센서들이 등장하였고, 많은 수의 센서를 경제적으로 설치할 수 있게 되었다.

특히 광섬유 센서는 내구성, 정확성이 높으며, 길이 방향으로 여러 위치에서 변형률, 온도 등을 계측할 수 있기 때문에 주목받고 있다. 광섬유 센서는 길이 방향 전 구간이 센서로 기능하는 분포형 센서와 광섬유의 특정 위치를 센서화하여 그 위치에서의 응답만을 계측하는 이산형 센서로 구분할 수 있다. 최근에는 한 가닥의 광섬유에 천 개 이상의 위치에서 계측할 수 있는 기술도 개발되고 있다. 하지만 광섬유는 쉽게 파손될 수 있기 때문에 콘크리트 시설물에 그대로 적용하기는 취급상 어려움이 따른다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 광섬유 센서를 FRP에 매립하여 일체로 제작한 신경망 센서가 개발되고 있다(그림 3).

센서를 통해 계측한 데이터는 유한요소모델이 실제 구조물과 동일하게 거동하도록 조정하는 데 사용된다. 기본적인 방법은 구조물과 유한요소모델의 응답 차이가 최소화되도록 유한요소모델을 조정하는 것이다. 이때 사용하는 응답은 변위, 속도, 가속도 등 계측한 응답 자체일 수도 있고, 이를 통해 구한 구조물의 고유진동수, 고유모드형상일 수도 있다. 최근에는 유한

그림 2 SOC에 디지털 트윈 적용 사례



(a) Virtual Singapore

<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>



(b) VU.CITY

<https://vu.city/vucity-london>

그림 3 신경망 센서를 활용한 스마트 모니터링 (한국건설기술연구원, 2019)



요소모형을 사용하지 않고 센서 계측 데이터만을 사용하여 구축한 인공지능(Artificial Intelligence, AI)을 디지털 트윈으로 활용하는 방법도 연구되고 있으나 시설물 성능 평가에는 한계가 있다.

향후 연구 방향

앞에서 언급한 기술들을 통해 SOC 시설물의 실시간 손상 진단이나 성능 평가가 가능하다. 이는 SOC 시설물의 유지관리 분야에서 안전성 측면에 해당하는 기술이며, 더 나아가 경제성 측면의 유지관리비용 절감 등을 달성하기 위해서는 효율적인 유지관리 의사결정 지원 기술을 개발해야 한다. 디지털 트윈 운영을 통해 시설물 성능의 이력 데이터를 확보함으로써 성능 예측 기술을 개발하고, 탐지된 손상 정보로부터 적절한 보수·보강 공법 및 물량(비용)을 산출하는 기술도 필요하다. **□**

참고자료

- Grieves, M. (2016). Origins of the Digital Twin Concept
- <https://www.ge.com/research/project/digital-twin-framework>
- <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- <https://vu.city/>
- 박영환 등 (2019) 신경망 센서 개발 및 이를 활용한 콘크리트 시설물의 스마트 모니터링 기술 개발, 한국건설기술연구원 주요사업 보고서